

G35203

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-264411

(43) 公開日 平成8年(1996)10月11日

(51) IntCl ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 4 1 R 5 4 1 M 5 4 1 W

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平7-61185

(22) 出願日 平成7年(1995)3月20日

(71) 出願人 000003078
株式会社東芝
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 小笠原 宗博
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 高松 潤
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 玉虫 秀一
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

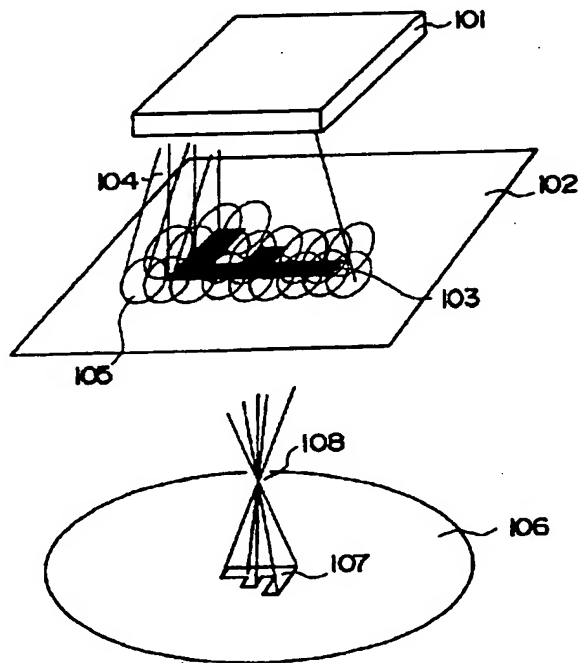
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子ビーム露光装置および電子ビーム露光での近接効果補正方法

(57) 【要約】

【目的】大電流化もしくは近接効果補正の容易化を図れ、描画時間の短縮化に寄与できる電子ビーム露光装置および電子ビーム露光での近接効果補正方法を提供する。

【構成】電子ビームを成型アパーチャを通して得たパターン化ビームで露光する電子ビーム露光装置において、複数の電子源よりなる電子源装置101を備え、かつ複数の電子源から放出される電子ビーム104の成型アパーチャ102上での電流分布が、必要な一様性もしくは分布をもつために電子ビーム同士の重なりを設定する重なり設定手段を備えている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】電子ビームを成型アパーチャに通して得たパターン化ビームで露光する電子ビーム露光装置において、複数の電子源よりなる電子源装置を備え、かつ上記複数の電子源から放出される電子ビームの上記成型アパーチャ上での電流分布が、必要な一様性もしくは分布をもつために電子ビーム同士の重なりを設定する重なり設定手段を備えていることを特徴とする電子ビーム露光装置。

【請求項 2】前記重なり設定手段は、前記成型アパーチャを移動させる手段であることを特徴とする請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 3】前記重なり設定手段は、前記電子源装置から放出される複数の電子ビームで前記成型アパーチャを走査する手段であることを特徴とする請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 4】前記電子源装置は、前記電子源単位もしくは複数の電子源単位に前記成型アパーチャに照射される電流を制御する電流制御手段を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 5】前記電子源装置は、1つの電子源から放出された電子ビームを複数の開口部を有するブランピングアパーチャを通過させることによって実質的に複数の電子源を構成していることを特徴とする請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 6】電子ビームの軌道に沿って配置された少なくとも 1 枚の成型アパーチャを用い、上記電子ビームで上記成型アパーチャ上を走査することにより、上記成型アパーチャの像を試料上に露光する電子ビーム露光装置において、電子源から放出される電流を制御する電流制御手段と、クロスオーバー領域においてビームの一部または全部を選択的に遮断する手段とを備え、上記両手段のうちの少なくとも一方の手段で上記成型アパーチャによりパターン化される電子ビームの電流密度を制御していることを特徴とする電子ビーム露光装置。

【請求項 7】複数の電子源を用い、各電子源から放出される電子ビームを成型アパーチャ上に重なりをもって照射し、該成型アパーチャを通過した成型ビームを用いて露光する電子ビーム露光を実行するに際し、上記電子源単位もしくは複数の電子源単位に上記成型アパーチャに照射される電流を制御することによって露光領域内のドーズ分布を制御することを特徴とする電子ビーム露光での近接効果補正方法。

【請求項 8】電子ビームの軌道に沿って配置された少なくとも 1 枚の成型アパーチャを用い、上記電子ビームで上記成型アパーチャ上を走査することにより、上記成型アパーチャの像を試料上に露光する電子ビーム露光を実行するに際し、電子源から放出される電流の制御およびクロスオーバー領域においてビームの一部または全部を選択的に遮断する制御の少なくとも一方の制御により、上

記成型アパーチャによりパターン化される電子ビームの電流密度を制御して露光領域のドーズ分布を制御することを特徴とする電子ビーム露光での近接効果補正方法。

【請求項 9】SCALPEL 方式で露光を行うとともに GHOST 法で近接効果の補正を行う電子ビーム露光での近接効果補正方法において、マスクより下流位置で、マスクで散乱されない電子がクロスオーバー像を結像する位置に、マスクでの散乱の小さい電子に対しては透過率が大きい第 1 のアパーチャとマスクでの散乱の小さい電子に対しては透過率が小さい第 2 のアパーチャとを交換配置しながら露光を行うことを特徴とする電子ビーム露光での近接効果補正方法。

【請求項 10】SCALPEL 方式で露光を行うとともに GHOST 法で近接効果の補正を行う電子ビーム露光での近接効果補正方法において、マスクより下流位置に、マスクでの散乱の小さい電子に対しては透過率が大きい第 1 の領域とマスクでの散乱の小さい電子に対しては透過率が小さい第 2 の領域を持つ 1 つのアパーチャを配置し、偏向手段で上記第 1 の領域と上記第 2 の領域とにクロスオーバー像が形成される条件を順次作り出して露光することを特徴とする電子ビーム露光での近接効果補正方法。

【請求項 11】SCALPEL 方式で露光を行うとともに GHOST 法で近接効果の補正を行う電子ビーム露光での近接効果補正方法において、マスクより下流位置で、マスクで散乱されない電子がクロスオーバー像を結像する面上にマスクでの散乱の小さい電子に対しては透過率が大きい第 1 の領域とマスクでの散乱の大きい電子に対しては透過率が大きい第 2 の領域とを持つ 1 つのアパーチャを配置して露光することを特徴とする電子ビーム露光での近接効果補正方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【産業上の利用分野】本発明は、ウェハへの微細パターンの描画等に用いられる電子ビーム露光装置および電子ビーム露光での近接効果補正方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体素子におけるパターンの微細化に伴って、リソグラフィ装置としての電子ビーム露光装置の重要性が高まってきている。この電子ビーム露光装置は、光ステッパよりも解像度が高いという利点がある反面、光ステッパのような一括露光ができないためにスルーブットが低いという不利な面を備えている。このため、電子ビーム露光装置を用いて如何にしてスルーブットをあげるかが重要な問題となる。

【0003】代表的な電子ビーム描画装置は、たとえば Proceedings of 35th International Symposium on electron, ion, and photon beams p.2981 に記述されている。この電子ビーム描画装置は、図 14 に示すように構成されている。

【0004】すなわち、1つの電子源1で発生した電子ビーム2を矩形の孔を持つ第1成型アパーチャ3に照射し、矩形断面を持つビーム4を形成する。次に、この矩形ビーム4を第2成型アパーチャ5に向けて第1成型アパーチャ3の像が第2成型アパーチャ5上に結ぶように照射する。第2成型アパーチャ5には矩形または斜辺を持った孔が設けられており、成型偏向器6によって第1成型アパーチャ像と第2成型アパーチャ5の孔との重なりを調整し、下流に異なる寸法の矩形または三角形の断面を有するビーム7を形成する。この矩形または三角形のビーム7を対物レンズ8によって縮小し、試料9の表面に第2成型アパーチャ5の像を結ぶ。このとき、主偏向器10、副偏向器11によってビーム7の照射位置を所定の位置に移す。なお、図14中、12はプロジェクションレンズを示している。

【0005】試料9へ実際にパターンを描画するとき、次のようにして行われる。まず、試料9上の全描画領域を最大偏向領域面積程度の小区画に分割し、偏向幅が大きく比較的速度の遅い主偏向器10を用いて描画したい小区画にビーム7を導く。次に、この小区画内のビーム7を偏向幅が小さく比較的速度の速い副偏向器11を用いて照射したい箇所へ導いて照射する。

【0006】このような電子ビーム露光装置に組込まれている偏向器を駆動する電気回路では理想的なステップ波形の信号を発生させることはできない。このため、その信号波形には図15に示すように、有限の立上がり・立下がり領域および信号が一定になるまでの振動領域が含まれている。したがって、通常、偏向器を用いてビームを動かしている間あるいはビームの動きが所定の位置で安定するまでの間は、ブランキング電極に電圧を加えてビームが試料9に到達しないようにしている。この時間はセトリング時間 t_s と呼ばれている。そして、ビームが所定の位置に安定してから試料表面に所定の電荷量を照射終了するまでの時間 t_d はブランキング電極の電圧を0にして、すなわちビームをアンブランクにしてビームを試料9に照射するようにしている。1つの小区画内の描画が終了したら再び主偏向器10を用いて次に描画すべき小区画にビームを移して描画を始める。さらに、実際には主偏向器10の偏向幅が試料9の長さ比べて短いので、適当な頻度で試料9を移動させて描画すべき小区画が常に主偏向器10の偏向幅範囲に納まるようにしている。

【0007】上記説明からも判るように、電子ビーム露光装置を用いて試料上にパターンを描画する場合、その描画に要する時間を決める要素は主に2つある。1つは、図15中に t_s で示す時間、すなわち主偏向、副偏向によるセトリング時間である。ここでは、セトリング時間 t_s の総和を T_s と略記する。成型偏向器6を動作させる場合には、通常、同時に主または副偏向器も動作させる。したがって、描画時間を考えるときには成型偏

向器6のセトリング時間は考えなくてもよい。また、多くの場合、主偏向の回数は副偏向の回数に比べて著しく少ないので、 T_s は副偏向のセトリング時間と副偏向の回数との積で近似できる。

【0008】もう1つは、電子ビームがレジストに必要なエネルギーを与えるのに要する時間であり、これはレジスト感度と電子ビーム電流とで決められる。これは図15中に示す t_d の総和になる。ここでは、この時間を T_d と略記する。

【0009】従来の電子ビーム露光装置では、多くの場合、 T_d と T_s とが同程度であり、いずれの時間も電子ビーム直描を量産に適用しようとしたときに最低限望まれる時間、たとえば4GビットDRAMのパターンを描画する場合で1ウェハ当たり2分であるのに対して二桁以上長い。量産に電子ビーム直描を適用するためには、 T_d 、 T_s の両方を現在より二桁程度以上短縮することが必要である。

【0010】セトリング時間の総和 T_s を短くする方法としては従来から幾つか提案されている。代表的なものとしては、Proceedings of 36th International Symposium on electron, ion, and photon beams p.2759 に述べられているように、たとえば図16(a)中の破線で囲まれた領域のパターンのように、単位パターンの繰り返しが多く現れるパターンを描画する際に、それらを先に述べた矩形パターンと三角形パターンとの組合せで描画するのではなく、たとえば第2成型アパーチャ5に図16(b)に示すように、その繰り返しパターンの単位パターンに対応した孔13を設けておき、これらの孔13を使って一度に複雑なパターンを描画するという方法がある。

【0011】これはキャラクタープロジェクション方式またはセルプロジェクション方式と呼ばれている。ビーム断面積をある程度大きくしておけば、この方式によって副偏向の回数を大幅に減らすことが可能である。詳しい計算によると、本方式をたとえば4GビットDRAMの量産レベルで用いるためには、ビームの大きさは約10ミクロン角以上必要であり、また用いるキャラクターパターンの数も一層当たり20程度必要である。

【0012】キャラクタープロジェクション方式においては有限個のキャラクターを選択してパターン描画を行うが、これをさらに進めて、図17に示すように試料9に描画するパターン14の全てを第2成型アパーチャ5に形成しておき、ビーム7で第2成型アパーチャ5上を一定速度で走査し、同時に第2成型アパーチャ5と試料9の両方を移動させるという方式も特開昭61-283121号公報で提案されている。本方式ではキャラクタープロジェクション方式よりもセトリングに要する時間を短縮できる。

【0013】一方、レジストの露光に必要な時間の総和 T_d を短くするためには、レジストの感度の向上または

ビーム電流の増加が必要である。近年、レジスト開発が進み、感度が従来に比べて一桁程度高いレジストが開発されつつあり、近い将来T_dの一桁程度の短縮が期待されている。しかし、これでも不十分である。したがって、電子ビームの大電流化が必要となる。

【0014】しかしながら、ビーム電流が増大すると電子同士の相互作用が、特に電子密度の高いところでは無視できなくなり、ビームの形状をぼかすことによりパターン精度を低下させる。図18は図14に示した従来装置の結像系の概略図である。通常の電子ビーム露光装置の光学系では電子源1としてLaB₆結晶を用いているため、電子源1のエミッタンスが小さい。クロスオーバー15付近では通常ビーム径が小さく、大電流の場合には電子密度が許容できない程に高くなる。クロスオーバー付近での電子同士の相互作用を抑えて十分な精度を得るためにはビーム電流を下げて用いざるを得ない。

【0015】したがって、前述した図16および図17に示す方法を用いてセトリング時間の総和T_sを短くしたとしても、レジスト露光時間T_dを短縮できないので、描画時間の短縮には限界がある。

【0016】また、セトリング時間の総和T_sを短縮していく場合に残された問題として、これまで紹介した方法では近接効果の補正が難しいことを挙げることができる。表面にレジストの塗布された試料に電子を照射した場合、試料（通常はSiウェハ）内で後方に散乱された電子がレジストにエネルギーを与えるため、たとえ究極に近い細いビームを照射したとしても、レジストに与えられるエネルギーの空間分布はほぼ $\delta(r) + \eta \exp(-r^2/\beta^2)$ に比例する。ここで、 $\delta(r)$ はデルタ関数であり、 r はビームを照射した位置からの距離、 η は後方散乱電子の効果の割合、 β は後方散乱の特徴的な広がりを表す。したがって、電子の照射密度が疎な領域と密な領域とで、レジストに与えられるエネルギー密度が異なり、このためにレジストを現像した場合に電子の照射領域の形状、寸法と現像領域の形状、寸法に違いが生じる。これは近接効果と呼ばれている。

【0017】図19を用いて近接効果について説明する。図19(a)の黒塗りの領域が電子を照射した部分である。図19(b)は図19(a)上の一点鎖線に沿った電子の照射量の分布を示す。

【0018】先に説明したように、レジストに与えられるエネルギーは、照射電子だけではなく、後方散乱電子によるものもある。レジストに与えられたエネルギーの分布を示すと、たとえば図19(d)のようになる。レジストの感光の閾値を図19(d)中の破線で示す値に設定した場合には、図19(c)に示すように、細い線は現像されない。レジストの感光の閾値を下げて、細い線も現像されるようにすると、今度は太い線の線幅が広がってしまう。

【0019】この問題に対する解決策の代表的なものとして、図20(a)に示すように、電子の照射量を一様とせず分布を持たせることで、図20(b)に示すようにレジストに与えられたエネルギー分布を変え、図20(c)に示すように所望のパターンを得るという方式がある。これは照射量補正方式と呼ばれている。

【0020】しかしながら、キャラクタープロジェクション方式あるいはビームで第2成型アパーチャ上を走査する方式で、たとえば図19(a)に示したようなパターンを発生する場合、電子の試料での後方散乱の代表的な長さと同程度あるいはそれ以上にビーム寸法が大きくなると、照射量補正が行えず、近接効果が起きてしまう。

【0021】なお、特開平3-101214号公報においては、ビームで第2成型アパーチャ上を走査する場合に、その走査速度に変調をかけて照射量補正を行うことが述べられているが、その場合でもビーム径を所定の大きさに小さくする必要があり、さらに一定速度で走査する場合に比べて回路が複雑となるので、動作が遅くなり、結果として描画時間が長くなることは避けられない。

【0022】これまで述べてきた成型アパーチャを用いる方式のほかに、図21に示すように、複数の電子源を二次元あるいは一次元に配置して、それぞれのビームをON/OFFすることでパターン化されたビームを得る方式が、たとえば特公平3-35775号公報で提案されている。

【0023】この方式では、電子源16と引き出し電極17との間に引き出し電圧18が印加されて電子が各電子源16より放出される。引き出し電極17の下流にはブランキング板19、20が設けてあり、それぞれがスイッチ21を介して、電源22、23あるいはアース線と接続される。ブランキング板19、20が接地されているときは、電子はブランキング板24に開けられた開口25より取り出され、電源22、23に接続されているときはブランクされる。各スイッチ21は独立に制御されるので、各電子源16からの電子の放出を独立に制御できる。

【0024】これに類似したものとして、特開平3-174715号公報では図22に示すように、成型アパーチャの位置27にビームの透過を独立に制御するためのブランキングアパーチャ28を二次元あるいは一次元に配置して複数電子源と同等の効果を得るという方式を提案している。なお、図中、29、30はブランキング板を示し、29は接地されており、30は独立に接地(OFF)または電圧が印加(ON)される。

【0025】この方式では電圧の印加されているブランキング板に対応するアパーチャ28を通過した電子は軌道を曲げられ、途中図示していないブランキングアパーチャにおいて阻止される。したがって、試料9上には各ブランキングアパーチャ列のON/OFFパターンに応じたパターン化されたビーム26が得られる。

【0026】図21および図22に示す方式を用いれば、原理的には予めパターン化されたアパーチャを用意しなくても任意のパターン化されたビームを発生することが可能となる。

【0027】しかしながら、このような方式で描画時間を短縮するためには、極めて速いビームのON/OFFが必要となる。たとえば、0.1ミクロンのパターンを精度良く描くためには、0.01ミクロン幅内に20万個の電子源を配置し、2ミリ幅の電子ビームを得るとして、試料を100mm/secで動かすとする、各電子源のON/OFFのサイクルは、10MHzとなる。20万個の電子源をこの速度で操作することは極めて困難で現実的でない。

【0028】さらに、マスクを用いた従来の電子ビーム露光装置では電子源で発生した電子を有効に利用していないという問題があった。これは図23に示すように、電子源1からの電子の放射角分布が一樣ではないためであり、実際には、電子の分布がほぼ一樣と見てよいごく狭い範囲から放出される電子のみを利用している。電子源1より放出された電子ビーム31は概略同図に示す電流分布を持っている。成型アパーチャを用いてパターン化されたビームを得る場合、アパーチャ上での電流分布は所定の一様性を持つことが必要である。したがって、利用できる電子ビームは、たとえば32で示す部分だけとなる。このため、多くの場合、ビームの利用率は1%以下である。これは電子源1として、LaB₆を用いる場合も、電界放出型電子源を用いる場合も同様である。これは大電流の電子ビームを利用したい場合には問題となる。

【0029】一方、前述したキャラクタープロジェクション方式では、ステンシルマスクを利用するために、たとえば抜き輪といったパターンのビームを発生することが原理的に困難である。

【0030】そこで、J. Vac. Technol. B9(1991)3000に示されているように、パターンをメンブレン上に形成したマスクを用い、マスクでの電子の散乱角の違いを用いて試料上でビーム強度にコントラストを与える方法(SCALPEL方式)が提案されている。

【0031】図24はこの方式の原理を説明するためのものである。電子源41より放出された電子ビーム42はたとえばエネルギーが150keVで、レンズ43によってクロスオーバを形成した後メンブレンマスク44に照射され、これを透過した後レンズ45で集束され、アパーチャ板46に開けられた穴47を通過した後、再びレンズ49で集束されて試料50に照射される。

【0032】ここで、メンブレンマスク44では電子の散乱の小さい領域51と散乱の大きい領域52とにパターン化されている。散乱の小さい領域はたとえば1000オングストロームのSiNで形成されており、散乱の大きい領域は散乱の小さい領域の上に厚さ500オングストロームのタングステンが付けたものとなっている。

【0033】この方式では、マスクで電子が散乱されない場合にクロスオーバの像が結像される位置にアパーチャ板46が設けられ、さらに上記位置に穴47が設けられている。メンブレンマスク44で受ける散乱の小さい電子はほとんどがアパーチャ板46の穴47を通過する。一方、散乱の大きい電子のほとんどは、穴47の周囲の領域53に衝突する。したがって、メンブレンマスク44の像が試料50上に結像するようにレンズ49を調節しておけば、メンブレンマスク44のパターン像を試料50に描画することができる。

【0034】このSCALPEL方式を採用した電子ビーム露光装置にあっても、前述の如く後方散乱電子によって照射領域以外でもレジストが露光されるという、いわゆる近接効果が生じるため、レジストを現像した後のパターンにぼけが生じる。

【0035】この近接効果を補正するために、2つの方式が提案されている。1つはドーズ量補正と呼ばれるもので、パターンの場所毎に電子の照射量を変えて、全体として、露光領域とそれ以外の領域とで後方散乱電子を含めた電子の照射量に必要なコントラストを与えるといものである。

【0036】また、もう1つはJ. Vac. Technol. B6(1988)448に示されるGHOST法と呼ばれるものである。これは、後方散乱電子の分布が入射電子の分布に比べて極めて広いことを利用したもので、露光領域への第1回目の露光の後に、露光領域以外の領域に露光領域での後方散乱電子による露光量と同じだけの電子を散乱電子の分布と同程度となるように予めばかして照射(第2回目の露光)するようにしている。

【0037】前者のドーズ量補正はSCALPEL方式で広い領域を一括して露光しようとする場合には不可能である。なお、電子ビームでメンブレンマスク44上を走査する場合には可能であるが、電子の走査速度を場所毎に変化させる必要があり、実現は容易ではない。一方、GHOST法を適用する場合には、このような問題は発生しないが、メンブレンマスク44のパターンを反転したマスクを別に用意する必要があるため、マスクの製作と交換に要する費用と時間は無視できないものとなる。

【0038】

【発明が解決しようとする課題】上述の如く、従来の電子ビーム露光装置にあっても、主に、大電流化が難しいこと、近接効果の補正が困難であることという問題があり、量産装置として求められる描画時間の大幅な短縮が困難であった。

【0039】そこで本発明は、上述した不具合の全部あるいは一部を解決できる電子ビーム露光装置および電子ビーム露光での近接効果補正方法を提供することを目的としている。

【0040】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、第1の発明では、電子ビームを成型アパーチャを通して得たパターン化ビームで露光する電子ビーム露光装置において、複数の電子源よりなる電子源装置を備え、かつ上記複数の電子源から放出される電子ビームの上記成型アパーチャ上での電流分布が、必要な一様性もしくは分布をもつために電子ビーム同士の重なりを設定する重なり設定手段を備えている。

【0041】なお、重なり設定手段は、成型アパーチャを移動させる手段や電子源装置から放出される複数の電子ビームで成型アパーチャを走査する手段で実現することもできる。

【0042】また、電子源装置は、電子源単位もしくは複数の電子源単位に成型アパーチャに照射される電流を制御する電流制御手段を備えていることが好ましい。さらに、電子源装置としては、1つの電子源から放出された電子ビームを複数の開口部を有するブランキングアパーチャを通過させることによって実質的に複数の電子源を構成しているものを用いることもできる。

【0043】また、上記目的を達成するために、第2の発明では、電子ビームの軌道に沿って配置された少なくとも1枚の成型アパーチャを用い、上記電子ビームで上記成型アパーチャ上を走査することにより、上記成型アパーチャの像を試料上に露光する電子ビーム露光装置において、電子源から放出される電流を制御する電流制御手段と、クロスオーバー領域においてビームの一部または全部を選択的に遮断する手段とを備え、上記両手段のうちの少なくとも一方の手段で上記成型アパーチャによりパターン化される電子ビームの電流密度を制御している。

【0044】また、上記目的を達成するために、第3の発明では、複数の電子源を用い、各電子源から放出される電子ビームを成型アパーチャ上に重なりをもって照射し、該成型アパーチャを通過した成型ビームを用いて露光する電子ビーム露光を実行するに際し、上記電子源単位もしくは複数の電子源単位に上記成型アパーチャに照射される電流を制御することによって露光領域内のドーズ分布を制御し、これによって近接効果を補正している。

【0045】また、上記目的を達成するために、第4の発明では、電子ビームの軌道に沿って配置された少なくとも1枚の成型アパーチャを用い、上記電子ビームで上記成型アパーチャ上を走査することにより、上記成型アパーチャの像を試料上に露光する電子ビーム露光を実行するに際し、電子源から放出される電流の制御とクロスオーバー領域においてビームの一部または全部を選択的に遮断する制御との少なくとも一方の制御により、上記成型アパーチャによりパターン化される電子ビームの電流密度を制御することによって露光領域内のドーズ分布を制御し、これによって近接効果を補正している。

【0046】また、上記目的を達成するために、第5の発明では、SCALPEL方式で露光を行うとともにGHOST法で近接効果の補正を行う電子ビーム露光での近接効果補正方法において、マスクより下流位置で、マスクで散乱されない電子がクロスオーバー像を結像する位置に、マスクでの散乱の小さい電子に対しては透過率が大きい第1のアパーチャとマスクでの散乱の小さい電子に対しては透過率が小さい第2のアパーチャとを交換配置しながら露光を行うことによって近接効果を補正している。

【0047】また、上記目的を達成するために、第6の発明では、SCALPEL方式で露光を行うとともにGHOST法で近接効果の補正を行う電子ビーム露光での近接効果補正方法において、マスクより下流位置に、マスクでの散乱の小さい電子に対しては透過率が大きい第1の領域とマスクでの散乱の小さい電子に対しては透過率が小さい第2の領域を持つ1つのアパーチャを配置し、偏向手段で上記第1の領域と上記第2の領域とにクロスオーバー像が形成される条件を順次作り出して露光を行うことによって近接効果を補正している。

【0048】また、上記目的を達成するために、第7の発明では、SCALPEL方式で露光を行うとともにGHOST法で近接効果の補正を行う電子ビーム露光での近接効果補正方法において、マスクより下流位置で、マスクで散乱されない電子がクロスオーバー像を結像する面上にマスクでの散乱の小さい電子に対しては透過率が大きい第1の領域とマスクでの散乱の大きい電子に対しては透過率が大きい第2の領域とを持つ1つのアパーチャを配置して露光を行うことによって近接効果を補正している。

【0049】

【作用】第1の発明に係る電子ビーム露光装置では、複数の電子源よりなる電子源装置を用いているので、電子源のエミッタンスを実効的に大きくすることができ、クロスオーバー位置での電流密度を下げる事が可能となる。これにより、大電流ビームを用いて精度の良い描画が可能となる。また、成型アパーチャ上での電流分布が必要な一様性もしくは分布を持つように電子ビーム同士の重なりを設定する重なり設定手段を設けているので、各電子源から放出される電子の角度分布の広い範囲を利用でき、高い電流利用効率を得ることができるので、Tdの短縮化に寄与できる。

【0050】また、第2の発明に係る電子ビーム露光装置では、電子源から放出される電流を制御する電流制御手段およびクロスオーバー領域において電子ビームの一部および全部を選択的に遮断する手段の少なくとも一方を用いているので、1つのパターン化されたビーム内での電流密度制御に寄与できる。

【0051】また、第3の発明に係る近接効果補正方法では、電子源単位もしくは複数の電子源単位に電流を制

御するようにしているので、1つのパターン化されたビーム内で電流密度を制御することができ、大口径電子ビームを用いた場合でも照射量補正による近接効果補正の効果的な実施に寄与できる。

【0052】また、第4の発明に係る近接効果補正方法では、電子源から放出される電流の制御とクロスオーバー領域において電子ビームの一部および全部を選択的に遮断する制御との少なくとも一方を用いているので、1つのパターン化されたビーム内での電流密度制御に寄与できる。

【0053】また、第5、第6、第7の発明に係る近接効果補正方法では、反転パターンマスクを用いることなく、近接効果を補正できるので、描画時間の短縮に寄与できる。

【0054】

【実施例】以下、図面を参照しながら実施例を説明する。図1には本発明の一実施例に係る電子ビーム露光装置の概略構成が示されている。

【0055】図中、101は複数の電子源を二次元配置してなる電子源装置を示し、102はアパーチャを示し、103はアパーチャ102に描画するパターン形状に合致する形状に形成された開口部を示している。104は電子源装置101を構成している各電子源からのビームレットを示し、105は各ビームレットのアパーチャ102上での特徴的な広がりを示す円を示し、106は試料を示し、107は開口部103の試料106上の像を示している。

【0056】なお、アパーチャ102の開口部103の像を試料106上に導く図示しない電子光学系が設けられている。また、アパーチャ102をステップ的あるいは連続的に移動させる図示しない機構が設けてあり、アパーチャ102を固定した場合よりも多くのパターンを露光することが可能となっている。

【0057】ここで、各ビームレット104は、アパーチャ102上において必要な均一性が得られるだけ重なるように重なり設定手段によって設定されている。すなわち、今、図2(a)に示すように、1つの電子源から放出される電子の電流分布がアパーチャ102上でいて、 $(1/(r^2 + a^2))^2$ に比例するとする。なお、 r は電流分布の中心からの距離、 a は電流分布の広がりを表すパラメータで、これは電子源、電子源よりの距離等で決まる。この例では、各電子源からの電流の分布の中心が間隔 $d = a/2$ で格子状に並ぶようにしてあり、図2(b)に示すようにアパーチャ102上での電流分布の一様性が0.1%以下となっている。なお、これ以上の一様性が必要な場合には、間隔 d を狭くするか、もしくは1つの電子源からの電流の広がり a を広くすることによって実現できる。

【0058】このように構成することによって、アパーチャ102の縁の部分を除けば、各電子源から放出され

た電子のほとんどをアパーチャ102の開口部103に通すことができるので、電子の利用効率を極めて高くすることができる。また、アパーチャ102の縁の付近ではビームレット104の間隔を若干狭くする等により、さらに若干の利用効率の向上が可能である。また、電子源を複数個用いることで実効的に電子源のエミッタンスを大きくできる。したがって、クロスオーバー位置108において大電流が狭い領域に集中するのを避けることができるので、電子間の相互作用によるビーム軌道のずれやエネルギー分散の増加を防ぐことができる。

【0059】なお、各電子源の配置は必ずしも二次元配置に限られるものではなく、図3に示すように一次元に配置することも可能である。さらに、電子源装置101からの各ビームレット104は真に重なる必要はなく、図4に示すように、矢印方向にみたときに各ビームレットが重なって見えるようにアパーチャ102上に照射して、アパーチャ102を矢印の方向に移動させたり、ビームレット104を矢印の方向に走査したりすることでも必要な重なりを持たせることができる。

【0060】図1、3は本発明の特徴を概略的に示したものであるが、種々の構成を採用できる。たとえば、電子源装置101、101aの各ビームレット104の電流を独立にON/OFFあるいは多値制御するようにしてもよい。

【0061】このような電子源装置の構成例を図5に示す。この例において、電子源列111は同電位の基板112上に二次元に配置されている。サブレッサ113、引き出し電極114と基板112との間に電源115、116で適当な電位を与えることによってビームレット104が得られる。

【0062】最初のカロスオーバー117の位置にブランキングアパーチャ118を設け、ブランキング電極119に電位を加えることで、各ビームレット104をON/OFFもしくは電流を制御する。

【0063】なお、ブランキング電極119の上流側の対と、下流側の対の長さを適当に調整して、ブランキング電極119に電位を与えてクロスオーバー117を移動させてもアパーチャ102上のビーム電流分布は殆ど変化しないようにできる。

【0064】また、各ビームレット104のアパーチャ102上の特徴的な広がりを示す前述した円105の半径は、この円105の試料106上の像の半径が試料106での電子の後方散乱の分布の特徴的な大きさよりも十分に小さくしておくことが好ましい。また、アパーチャ102上での電流密度分布が近接効果補正に必要なだけのコントラストが得られる程度に小さくしておくことが望ましい。たとえば円105の試料106上の像の半径が、試料106での電子の後方散乱の分布の特徴的な大きさの5分の1程度であれば多くの場合は十分である。こうすることによって、図19で説明した近接効果

を補正する場合、図 20 (a) を近似する電流分布を容易に得ることができる。

【0065】このように、各ビームレット 104 の電流を制御することによって、アパーチャ 102 を通過してパターン化されたビームはその電流分布が近接効果補正に必要な分布となっており、近接効果の問題も解決される。

【0066】なお、アパーチャ 102 と試料 106 とを同時に移動させることで試料 106 にパターンを描画する場合には、各ビームレット 104 の電流を対応するパターン上の照射位置に応じて制御する必要がある。しかし、いわゆるマルチビーム方式で各ビームレットがパターンの最小寸法を描く場合に比べれば、その制御に必要な速度は格段に遅くてもよい。たとえばマルチビーム方式で最小寸法 0.1 ミクロンのパターンを描く場合に、必要な精度を得るためには試料 106 上において直径 0.01 ミクロン程度のビームレットが必要となる。試料が 100 m/sec で移動しているとすると、各ビームレットを 10 MHz で制御することが必要である。しかも、その場合には、たとえば 2 ミリの幅を描画するために 20 万個の電子源が必要となる。

【0067】一方、本実施例の方式では、後方散乱の直径を 30 ミクロン程度とし、電流分布制御を 5 ミクロン程度で行うとすると、20 kHz 程度の速度でよく、電子源の数も 400 個程度で済むことになり、実現は遥かに容易である。また、電子源の配置密度をこれよりも高くし、幾つかの電子源を 1 つの単位にして制御するという方式をとることもできる。このようにすることで電子源単体の電流放射の揺らぎを平均化することができる。

【0068】上記各例は複数の電子源を用いることを前提にしているが、複数のビームを発生するようにしてもよい。図 6 には 1 個の電子源からの電子を途中でビームレットに分割して、それぞれのビームレットの電流を制御するようにした実施例が示されている。

【0069】同図において、電子源 201 で発生したビーム 202 を電極を設けたアパーチャ列 203 に照射してビームレットを得る。アパーチャ列 203 には各ビームレットを集束させるレンズが設けてあり、アパーチャ列 203 を通過したビームレットは一旦集束した後で広がり、アパーチャ 102 で必要な電流分布の均一性が得られるように重なっている。

【0070】図 7 にはアパーチャ列 203 の 1 つのアパーチャ部分 203 a の拡大図が示されている。この例では、分割されたビームレット 104 を電極 211 によって生じさせた電場によって偏向し、電流制限用アパーチャ 212 によってビームの一部あるいは全部を遮断することにより、各ビームレット 104 の電流を制限することができるようにしている。

【0071】図 7 に示す構成を用いて近接効果を補正する方法は、先の図 5 に示した例と同じである。本構成で

は、電子源から放射された電流の利用効率が先の例に比べて劣るが、他の利点は備えている。

【0072】図 8 には本発明に係る近接効果補正方法の原理を説明するための図が示されている。まず、この電子ビーム露光装置の露光方法を説明する。

【0073】電子源 301 より放出された電子ビーム 302 は第 1 の成型アパーチャ 303 の開口部 304 の形に成型され、第 2 の成型アパーチャ 305 上に照射される。ここで、第 2 の成型アパーチャ 305 上に開口部 304 の像 306 が形成されるように光学系が設定されている。

【0074】第 2 の成型アパーチャ 305 には描画するパターン形状の開口部 307 が設けてある。像 306 の大きさは開口部 307 より小さいので、開口部 307 の像を試料 308 上に得るために第 2 の成型アパーチャ 305 上を走査する必要がある。この例では走査方法として、いわゆるラスタ走査を用いており、これによって精度よく等速で走査でき、折り返しに要する時間を除けば、ベクトル走査におけるようなセトリング時間は不要となる。したがって、実効的には大口径のパターン化されたビームを用いるのとはほぼ等しいスループットの向上を期待できる。なお、第 1 の成型アパーチャ 303 を省略して、丸いビームを第 2 の成型アパーチャ 305 に照射する方式も可能である。

【0075】ところで、本装置を用いて露光する場合は、開口部 307 の試料 308 上の像 309 では電流密度が一定となり、近接効果が生じる。そこで、本実施例では次のようにしている。

【0076】すなわち、本実施例では、電流エミッション制御回路 310 によって電子源 301 の電流を制御したり、ブランキング板 311 に印加する電圧を変化させることで電流密度を制御している。ここで、ブランキング板 311 に電圧を印加してブランキングする場合もアパーチャ 303 の開口部 304 上の電流分布の均一性が保たれるように、上流側のブランキング板対と下流側のブランキング板対の偏向感度が調整してある。これにより、電流密度を変化させても像 306 の電流密度分布は一様に保たれる。

【0077】なお、図 8 中、312 はブランク回路を示し、313 はブランキングアパーチャを示し、314 は成型偏向器を示し、315 は偏向器駆動回路を示し、316 は上記各回路を制御する制御回路を示している。

【0078】本方式によれば、ビームの電流密度調整とビーム成型とが独立であるため、それぞれが干渉することなく精度の良い制御が可能となる。また、図 9 に示すようにブランキング板 311 と独立に電流変調板 317 を設けることも可能である。すなわち、ブランキング板 311 は電流の大きい変化を受け持ち、電流変調板 317 は細かい変化を受け持つようにすることで、電流の変調を細かく行うことが電気回路的に容易となる。ブラン

キング板、変調板の２種類だけではなく、電流変調の細かさの必要に応じて種類を増やしてより細かい制御を行うことも可能である。ブランキング板および各電流変調板の配置は図 9 の例に限らず、異なるクロスオーバー位置に設けてもよい。また、ブランキング板だけでなく電子源のエミッションそのものを引き出し電圧の調整等によって制御することで電流密度を調整することも可能である。ここで説明している電子ビーム露光装置では走査するビームの断面が後方散乱の広がりよりも十分小さいようにしてある。したがって、ビーム源として、図 1、図 3 に示した実施例の如く複数の電子源の集合を用い、各ビームレットを独立に制御する代わりに全ビームレットを同一に制御するという方式も可能である。ビームレットは一次元あるいは二次元に配置することができる。

【0079】図 10 には本発明に係る近接効果補正方法の別の例を説明するための図が示されている。この例は、図 24 を用いて説明した SCALPEL 法を採用し、かつ GHOST 法を用いて近接効果を補正する方法に本発明を適用した例である。したがって、図 24 と同一機能部分を同一符号で示し、詳しい説明は省略する。

【0080】図 24 を用いて説明したように GHOST 法では、露光領域への第 1 回目の露光の後、露光領域以外に露光領域での後方散乱電子による露光量と同じだけの電子を散乱電子の分布と同程度になるように第 2 回目の露光を行う必要がある。

【0081】この図 10 に示す例では、第 1 回目の露光に際しては図 10 (a) に示すように、従来と同様にマスク 44 で電子が散乱されない場合にクロスオーバーの像が結像される位置に穴 47 を有した第 1 のアパーチャ板 46 を用いる。そして、第 2 回目の露光を行うときには、図 10 (b) に示すように上記クロスオーバーの像が結像される位置には穴が開いておらず、周囲の主に散乱の大きい電子が結像される位置に穴 401 を有した第 2 のアパーチャ板 402 に交換するようにしている。

【0082】すなわち、この例では、GHOST 法を用いて近接効果補正を行う場合に、第 1 回目の露光の後にアパーチャ板を交換して第 2 回目の露光を行うようにしている。この時に、レンズ 49 を適当に調整して、試料 50 上では GHOST 法の第 2 回目の露光に必要なだけぼけた像が領域 403 上で得られるようにしている。

【0083】したがって、従来の方法とは違ってメンブレンマスク 44 のパターンを反転した別のマスクを用意する必要がないので、コストの低減を図ることができる。図 11 には本発明に係る近接効果補正方法のさらに別の例を説明するための図が示されている。

【0084】この例も、図 24 を用いて説明した SCALPEL 法を採用し、かつ GHOST 法を用いて近接効果を補正する方法に本発明を適用した例である。したがって、図 24 および図 10 と同一機能部分を同一符号で示し、詳しい説明は省略する。

【0085】図 10 に示した例では第 1 回目の露光の後に第 1 のアパーチャ板 46 を第 2 のアパーチャ板 402 に交換して第 2 回目の露光を行う方式を採用しているが、この例では、先の例の第 1 のアパーチャ板 46 に設けられた穴 47 に相当する穴と第 2 のアパーチャ板 402 に設けられた穴 401 に相当する穴とを図中左右方向に位置的にずらして設けた 1 枚のアパーチャ板 404 を用いるとともにレンズ 45 の下にビーム偏向器 405 を設け、第 1 回目の露光を行うときには図 11 (a) に示すように前述したクロスオーバー像を穴 47 へ移動さ、第 2 回目の露光を行うときには図 11 (b) に示すようにクロスオーバー像を穴 401 が設けられている領域の中心へ移動させるようにしている。

【0086】したがって、この例では図 10 の場合より遙かに簡単に近接効果補正を行うことができる。図 12 には本発明に係る近接効果補正方法のさらに異なる例を説明するための図が示されている。

【0087】この例も、図 24 を用いて説明した SCALPEL 法を採用し、かつ GHOST 法を用いて近接効果を補正する方法に本発明を適用した例である。したがって、図 24 および図 10 と同一機能部分は同一符号で示し、詳しい説明は省略する。

【0088】先に説明した例ではいずれも一括露光方式を採用しているが、この例ではビーム成型用のアパーチャ板 406 と偏向器 407 とを使ってマスク 44 上を電子ビーム 408 でラスタ走査する方式と、図 10 に示した第 1 回目の露光終了後に第 1 のアパーチャ板 46 を第 2 のアパーチャ板 402 に交換して第 2 回目の露光を行う方式とを併用している。

【0089】この方式であると、マスク 44、試料 50 を同期させて移動させることで、偏向器 407 の能力に制限されずに大面積のマスクを用いて大きなパターンを試料 50 上に描くことが可能である。なお、このラスタ走査方式と図 11 に示した偏向器 405 を用いてアパーチャの切り替えを行う方式とを併用した方式を採用することも有効である。

【0090】図 13 には本発明に係る近接効果補正方法のさらに異なる例を説明するための図が示されている。この例も、図 24 を用いて説明した SCALPEL 法を採用し、かつ GHOST 法を用いて近接効果を補正する方法に本発明を適用した例である。したがって、図 24 および図 10 と同一機能部分は同一符号で示し、詳しい説明は省略する。

【0091】この例では、図 10 (a) に示される第 1 のアパーチャ板 46 に設けられた穴 47 に相当する穴と図 10 (b) に示される第 2 のアパーチャ板 402 に設けられた穴 401 に相当する穴とを同心的に設けた 1 枚のアパーチャ 409 を用いている。

【0092】ここで、穴 401 の大きさは、散乱の大きい電子の通過量が GHOST 法での第 2 回目の露光に必

要な量となるように決められている。すなわち、穴401には必要に応じて薄膜を取り付け、散乱の大きい電子による試料50上の像がGHOST法での第2回目の露光に必要な程度にぼけるように電子を散乱させている。

【0093】この方式を用いれば、1回の露光で近接効果補正のための露光も同時に行われることになり、露光に要する時間を大幅に短縮できる。なお、図13に示す例では一括転写方式を採用しているが、図12に示す例のようにビームでマスク上を走査する方式と併用することもできる。

【0094】このように、図10～図13に示す例では、クロスオーバー位置に第2のアパーチャを設けることで、反転パターンを容易に得ることができる。なお、本発明は、上述した各実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨の範囲内で具体的な電子光学系の構造やビームの走査方法等を選択できることは勿論である。

【0095】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、大電流化もしくは近接効果補正の容易化を図ることができるので、描画時間の短縮化に寄与できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る電子ビーム露光装置の概念図

【図2】同装置における各ビームの重なりを説明するための図

【図3】同装置の変形例を説明するための概念図

【図4】同装置のさらに別の変形例を説明するための概念図

【図5】同装置に組込まれた電子源装置の概略構成図

【図6】電子源装置の変形例を説明するための概念図

【図7】同電子源装置におけるビーム分割用アパーチャ部の概略構成図

【図8】本発明に係る近接効果補正方法を実施する電子ビーム露光装置の概念図

【図9】同装置に組込まれたビーム制御部の概略構成図

【図10】本発明に係る別の近接効果補正方法を実施する電子ビーム露光装置の概念図

【図11】本発明に係るさらに別の近接効果補正方法を実施する電子ビーム露光装置の概念図

【図12】本発明に係る異なる近接効果補正方法を実施する電子ビーム露光装置の概念図

【図13】本発明に係るさらに異なる近接効果補正方法を実施する電子ビーム露光装置の概念図

【図14】従来の電子ビーム露光装置の概念図

【図15】同装置の問題点を説明するための図

【図16】問題点を改善するための従来の手法を説明する

ための図

【図17】問題点を改善するための従来の手法を説明するための図

【図18】別の問題点を説明するための図

【図19】同問題をさらに詳しく説明するための図

【図20】同問題をさらに詳しく説明するための図

【図21】問題点を改善するための従来の別の手法を説明するための図

【図22】問題点を改善するための従来のさらに別の手法を説明するための図

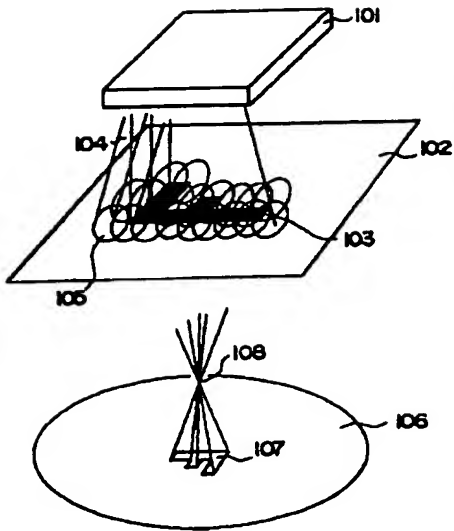
【図23】従来装置のさらに別の問題点を説明するための図

【図24】従来装置のさらに異なる問題点を説明するための図

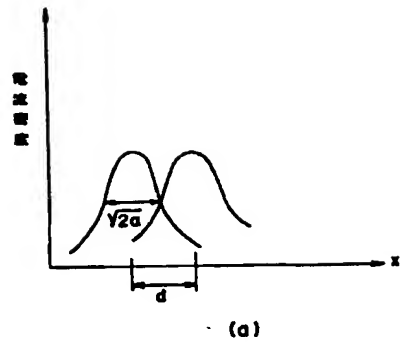
【符号の説明】

41…電子源	44…メンブレン
マスク	
46…アパーチャ	47…穴
50…試料	101、101a
…電子源装置	
102…アパーチャ	103…開口部
104…ビームレット	
105…ビームレットのアパーチャでの広がりを示す円	
106、308…試料	111…電子源列
112…基板	113…サブレッサ
114…引き出し電極	117…クロスオーバー
118…ブランキングアパーチャ	119…ブランキング電極
201…電子源	203…アパーチャ列
203a…1つのアパーチャ部	303…第1の成型アパーチャ
304、307…開口部	305…第2の成型アパーチャ
310…電流エミッション回路	311…ブランキング板
313…ブランキングアパーチャ	314…成型偏向器
315は偏向器駆動回路	317…電流変調板
401…穴	402…第2のアパーチャ板
404、409…アパーチャ板	405…偏向器

【図 1】



【図 2】

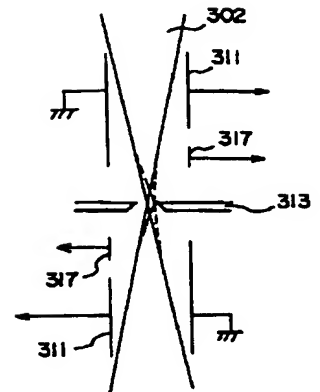


(a)

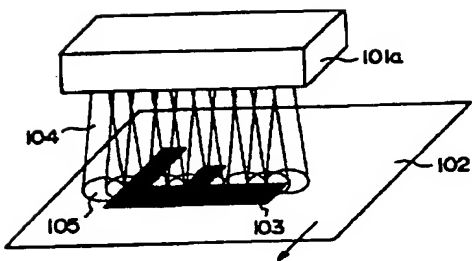


(b)

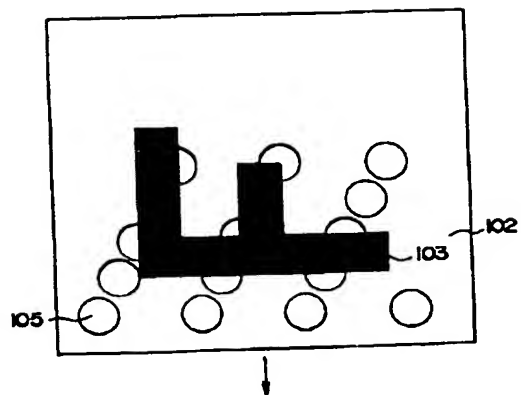
【図 9】



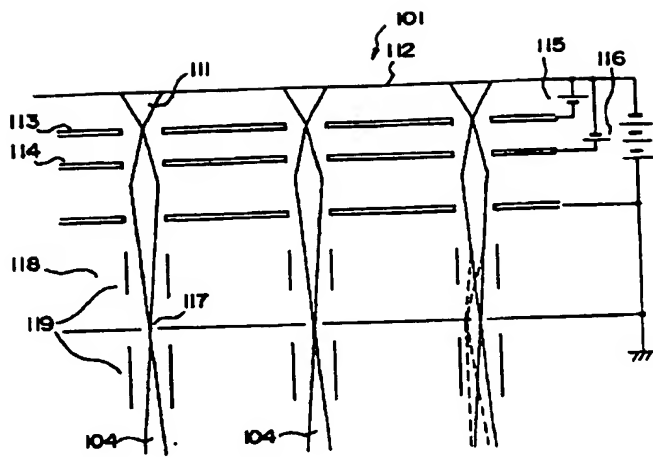
【図 3】



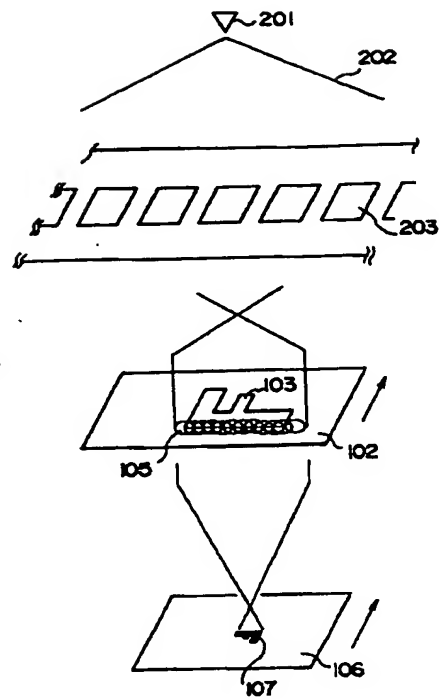
【図 4】



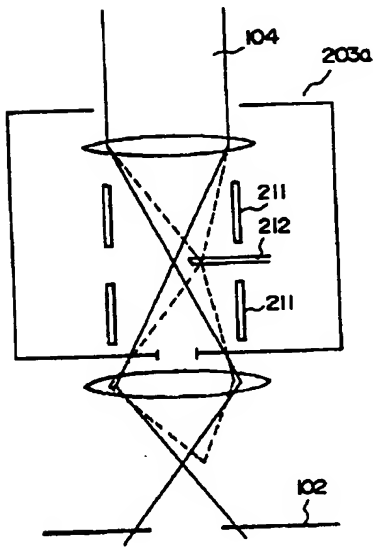
【図5】



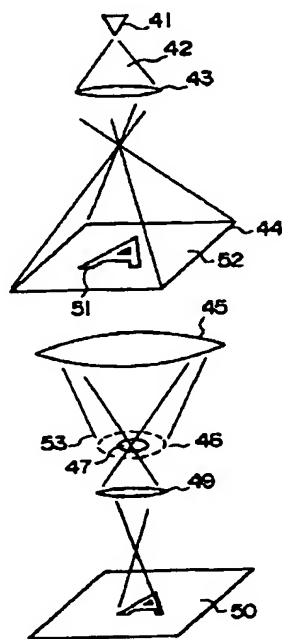
【図6】



【図7】

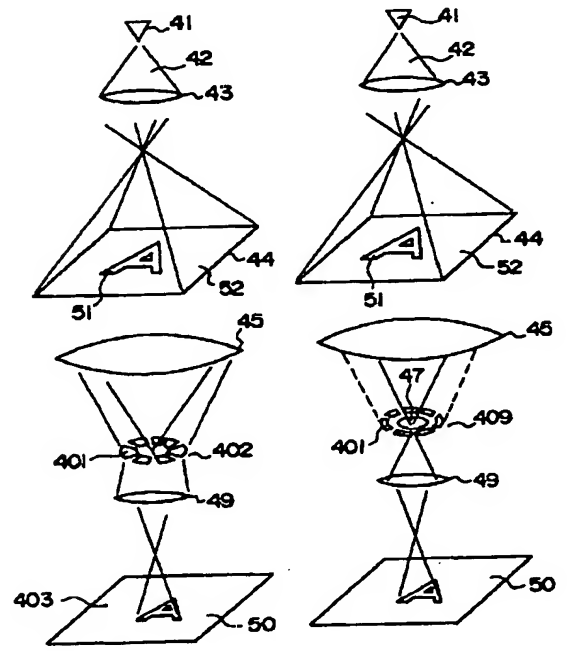


【図10】



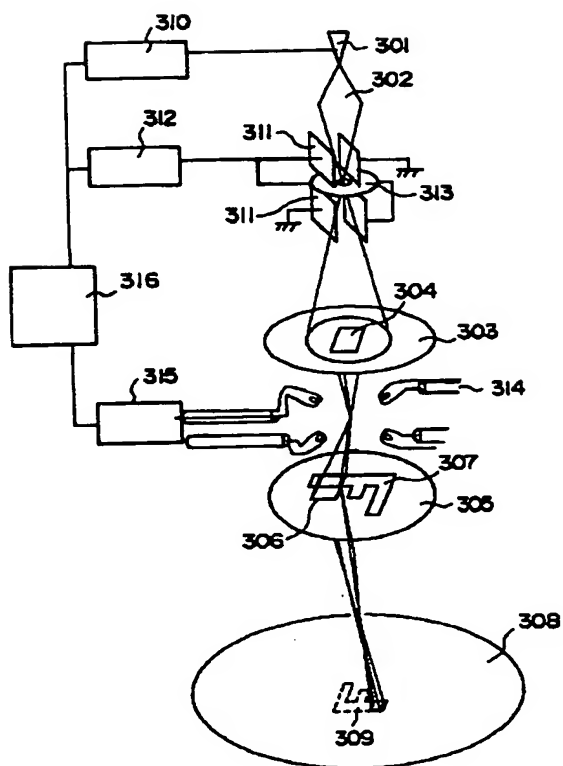
(a)

【図13】

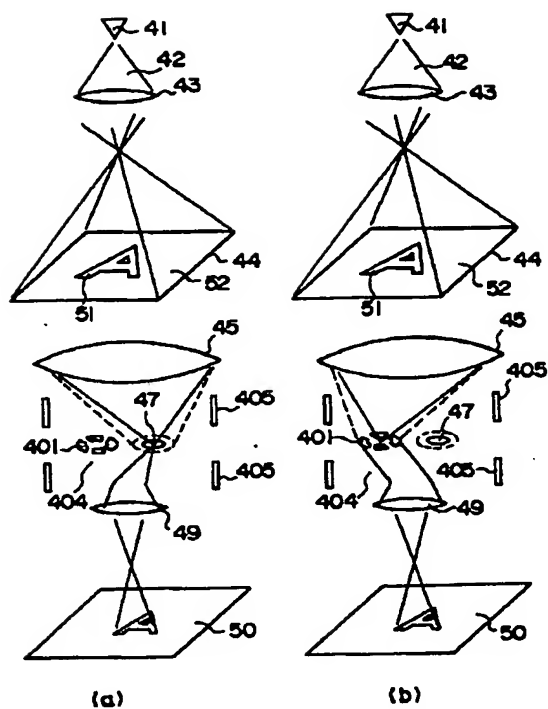


(b)

【図 8】

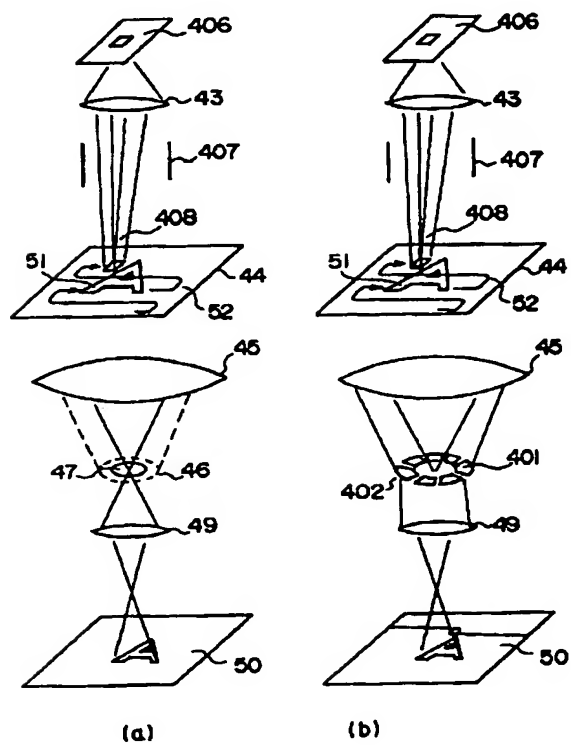
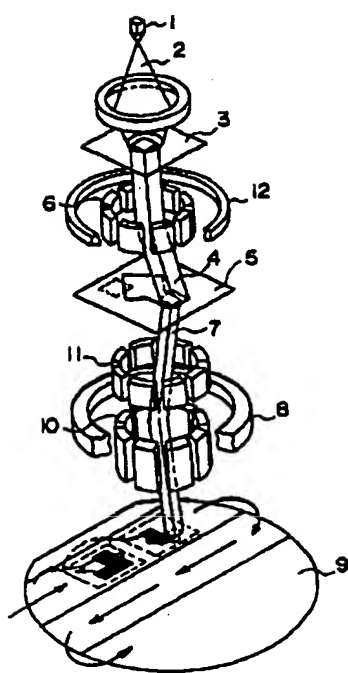


【図 11】



【図 12】

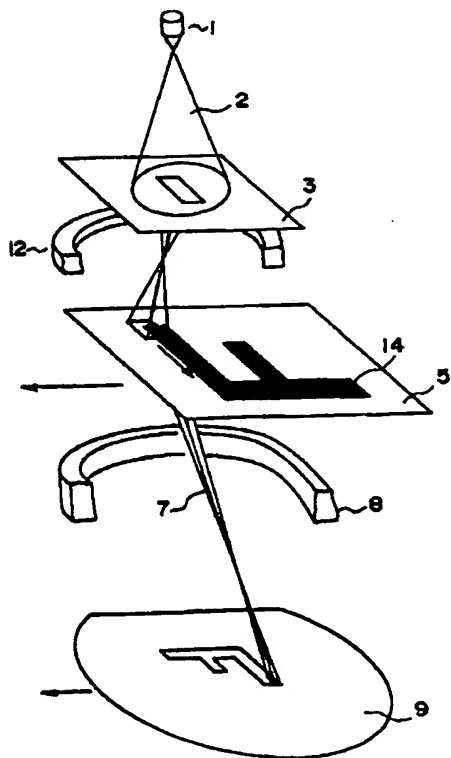
【図 14】



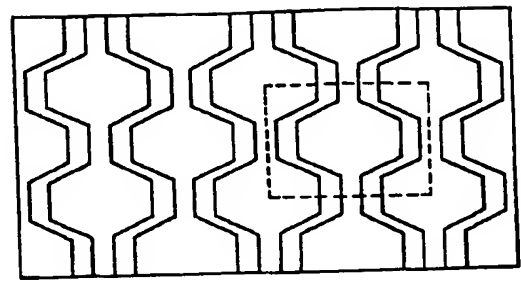
【図15】



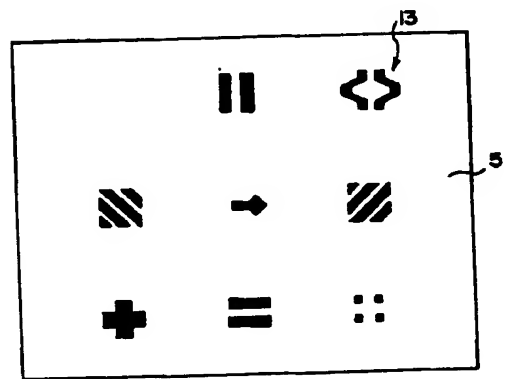
【図17】



【図16】

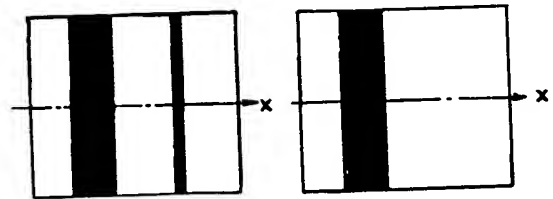


(a)



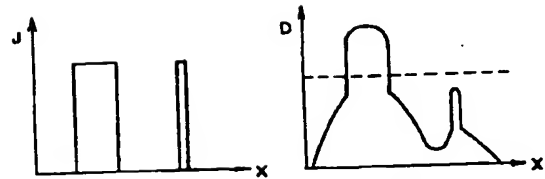
(b)

【図19】



(a)

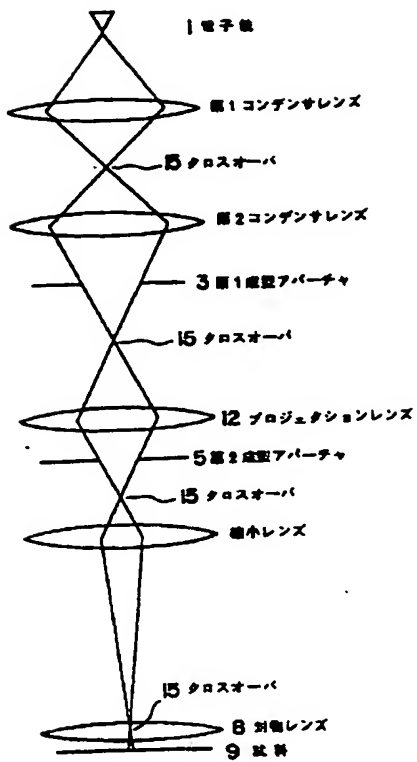
(c)



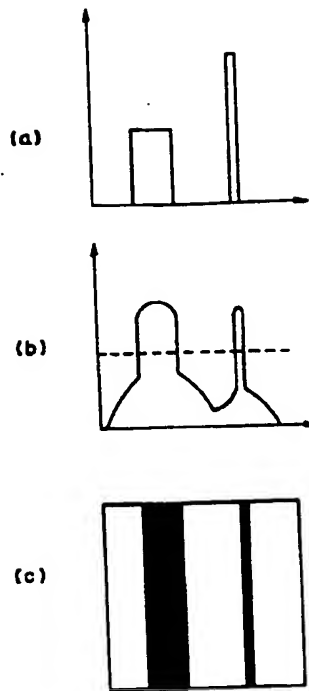
(b)

(d)

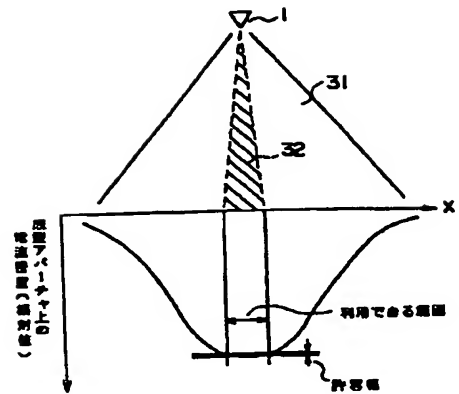
【図18】



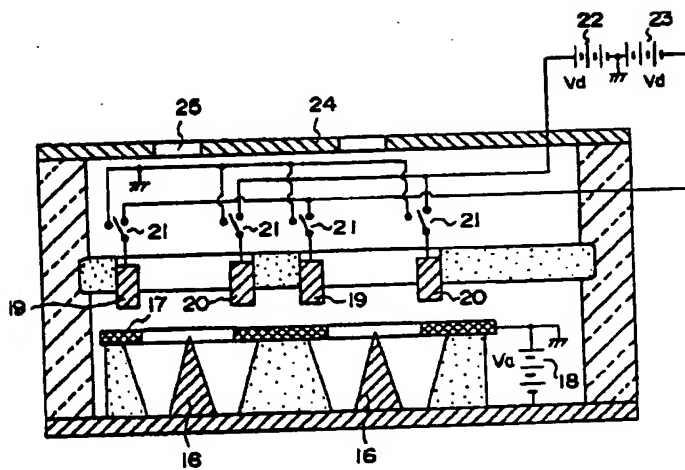
【図20】



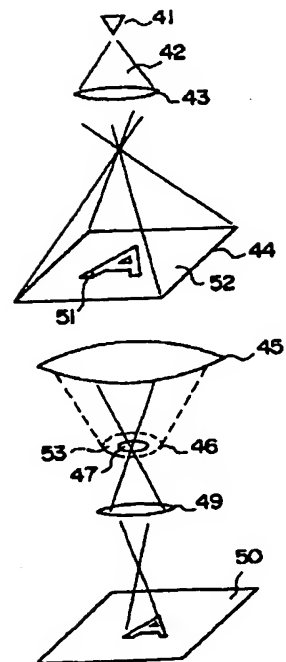
【図23】



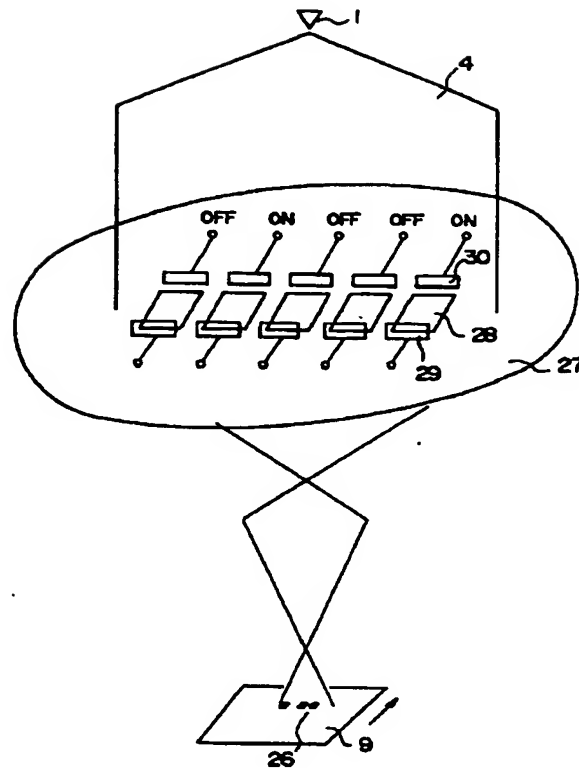
【図21】



【図24】



【図 2 2】



フロントページの続き

(72) 発明者 山崎 聡
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
 式会社東芝研究開発センター内
 (72) 発明者 吉武 秀介
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
 式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 小碓 創司
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
 式会社東芝研究開発センター内
 (72) 発明者 五明 由夫
 神奈川県川崎市幸区堀川町 72 番地 株式会
 社東芝堀川町工場内